

DAUR OPTIMAL HUTAN RAKYAT MONOKULTUR DALAM KONTEKS PERDAGANGAN KARBON: SUATU TINJAUAN TEORITIS (*Optimal Rotation of Monoculture Private Forest in Carbon Trading Context: A Theoretical Review*)

Oleh/By :

Yonky Indrajaya

(Balai Penelitian Teknologi Agroforestry)

Jl. Raya Ciamis-Banjar km 4, Ciamis 46201, email: yonky_indrajaya@yahoo.com

Diterima : 2 Februari 2011; Disetujui : 19 April 2011

ABSTRACT

Determining optimal rotation for plantation forest is an essential step to gain maximum profit. Information on how to determine the optimal financial rotation is still rare in the plantation forest in Indonesia. Introducing carbon sequestration service as one of the environmental services may influence the decision on optimal rotation. This paper aims to elaborate three forest optimal rotations: (1) ecological rotation, (2) economic rotation (Faustmann rotation), and (3) joint production of timber and carbon (Hartman rotation). The method used in this study is desk study. From illustration data, some results are obtained: (1) economic rotation gives shorter rotation period than ecological rotation if only consider timber as the benefit, (2) joint production of timber and carbon gives longer rotation period than that in economic rotation period, but still shorter than the ecological rotation, (3) considering only carbon as the benefit will lead to rotation in which positive growth still occurs, (4) the higher the real interest rate, the shorter the Faustmann rotation, and (5) the higher the price of carbon, the longer the Hartman rotation.

Keywords: optimal rotation, Faustmann, Hartman, plantation forest, carbon

ABSTRAK

Penentuan daur yang optimal merupakan hal yang penting untuk memperoleh keuntungan yang maksimum. Informasi mengenai bagaimana rotasi finansial ditentukan masih jarang ditemukan di hutan tanaman di Indonesia. Memasukkan jasa lingkungan karbon dapat merubah keputusan akan daur yang optimal. Tulisan bertujuan untuk menguraikan tiga daur optimal: (1) daur biologis/ekologis, (2) daur ekonomis (Faustmann), dan (3) daur produksi bersama kayu dan karbon dari suatu hutan tanaman (Hartman). Metode yang digunakan adalah *desk study*. Dari data ilustrasi diperoleh beberapa hasil yaitu: (1) Daur ekonomis memberikan waktu yang lebih pendek untuk melakukan tebangan jika hanya mempertimbangkan kayu dalam penentuan daur ekonomisnya, (2) Memasukkan keuntungan dari jasa lingkungan serapan karbon dalam perhitungan daur optimal ekonomis akan memberikan waktu yang lebih panjang dibandingkan hanya mempertimbangkan keuntungan dari kayu, (3) Jika hanya mempertimbangkan jasa lingkungan karbon sebagai keuntungan, maka daur optimal akan diperoleh pada saat hutan masih tumbuh positif, (4) Semakin tinggi suku bunga semakin pendek daur Faustmann, dan (5) Semakin tinggi harga karbon semakin panjang daur Hartman.

Kata kunci: daur optimal, Faustmann, Hartman, hutan tanaman, karbon

I. PENDAHULUAN

Hutan rakyat telah memberikan kontribusi yang signifikan bagi pemenuhan kebutuhan kayu nasional. Keterbatasan pasokan kayu dari hutan negara yang hanya sebesar 25 juta m³/tahun belum mampu untuk memenuhi kebutuhan kayu nasional yaitu sebesar 60 juta m³/tahun. Oleh karenanya,

perhatian sudah seharusnya diberikan kepada para pengusaha hutan rakyat sebagai salah satu agen pemasok kayu, agar memperoleh manfaat yang sebesar-besarnya.

Penentuan daur optimal merupakan salah satu langkah penting bagi pengelola hutan rakyat agar mendapatkan keuntungan ekonomi yang sebesar-besarnya dari hutan rakyat yang dikelolanya. Pada

umumnya, petani hutan rakyat banyak yang menggunakan “daur butuh” dalam menentukan waktu pemanenan kayu, karena kayu dianggap sebagai tabungan dengan kurang memperhitungkan faktor biaya, harga, suku bunga dsb.

Penentuan daur optimal dari hutan rakyat yang dikelola dalam skala besar juga seringkali menggunakan daur ekologis, di mana kayu akan ditebang apabila rata-rata riap hutan (*mean annual increament*) setara dengan riap hutan tahun berjalan (*current annual increament*). Metode ini sering disebut dengan “solusi maksimasi hasil yang berkelanjutan” atau “prinsip kulminasi”. Metode ini hanya mempertimbangkan pertumbuhan hutan semata tanpa memperhitungkan aspek ekonomi seperti harga, biaya, dan suku bunga, sehingga keuntungan maksimal belum tentu diperoleh.

Pendekatan yang dipakai oleh ekonom dalam penentuan daur optimal hutan agak sedikit berbeda. Amacher *et.al.* menyebutkan bahwa ekonom memandang hutan sebagai asset ekonomi jangka panjang yang dapat menghasilkan kayu secara periodik dari hasil penebangan kayu. Secara ekonomi, daur optimal dari suatu tegakan hutan adalah apabila pendapatan yang diperoleh dari penebangan sebanding dengan biaya kesempatan dari penundaan pemanenan. Para ekonom secara sederhana hanya mengubah paradigma teori kapital biologis para rimbawan dengan teori kapital ekonomi.

Hutan rakyat, seperti halnya tipe hutan yang lain dapat memberikan kontribusi dalam penyerapan karbon, karena secara alamiah proses fotosintesis tumbuhan membutuhkan CO₂. Dengan kemampuannya ini, hutan rakyat juga memiliki potensi untuk memperoleh insentif dari para pihak yang berkewajiban untuk menurunkan tingkat emisinya (e.g. negara-negara industri penghasil) melalui mekanisme penjualan jasa lingkungan karbon (e.g. REDD+/Reducing Emissions from Deforestation and Forest Degradation). Tambahan pendapatan dari mekanisme jasa lingkungan karbon ini dapat memberikan pengaruh bagi pengelola hutan rakyat dalam menentukan daur optimalnya agar keuntungan yang maksimal dapat diperoleh.

Beberapa penelitian telah dilakukan di beberapa tempat terkait dengan penentuan daur optimal hutan tanaman dalam konteks jasa lingkungan karbon, seperti: (1) Van Kooten *et al.* menguraikan

pengaruh pajak/subsidi pemerintah untuk meningkatkan cadangan karbon dalam penentuan daur optimal hutan tanaman di Kanada, (2) Tassone *et al.* ; Olschewski dan Benitez meneliti beberapa daur optimal hutan dengan introduksi perdagangan karbon CDM (*Clean Development Mechanism*) dalam proyek aforestasi di Itali dan Costa Rica. Hasil-hasil penelitian dengan terkait dengan penentuan daur optimal tegakan hutan terkait dengan jasa lingkungan karbon disajikan dalam Lampiran 1.

Penelitian lain telah pula dilakukan di Indonesia, seperti: (1) Ginoga *et al.* yang memasukkan jasa karbon dalam menghitung kelayakan usaha di Perum Perhutani KPH Saradan, (2) Rahmat yang melakukan studi kelayakan proyek karbon di PT SBA WI di Sumatera Selatan, 3) Subarudi *et al.* menganalisis pengaruh jasa lingkungan karbon terhadap daur optimal hutan tanaman sengon dan akasia dengan pendekatan *single cycle*. Penelitian ini belum memberikan gambaran daur optimal dari suatu tegakan hutan tanaman dengan pendekatan rotasi tak hingga (hutan tidak akan berubah peruntukannya). Oleh karena itu, kajian tentang daur optimal dengan mempertimbangkan manfaat jasa lingkungan karbon perlu dilakukan pada rotasi tak hingga.

Tulisan ini menguraikan daur ekologis dan ekonomis hutan rakyat monokultur apabila diintrodusir serapan karbon sebagai salah satu jasa lingkungan yang dapat dihasilkan oleh tegakan hutan rakyat. Tulisan ini diharapkan dapat memberikan tambahan informasi bagi pemangku kepentingan hutan rakyat umumnya dan pengelola hutan rakyat (petani) khususnya.

II. METODE PENELITIAN

Penelitian ini dilakukan dengan metode *desk study* dengan melakukan analisis terhadap jurnal ilmiah dan buku teks yang terkait dengan manajemen optimal suatu tegakan hutan tanaman monokultur apabila mempertimbangkan jasa lingkungan karbon dalam perhitungan optimasinya. Tahapan yang dilakukan adalah: (1) menganalisis daur optimal hutan yang telah dilakukan oleh rimbawan pada umumnya, yaitu ketika rata-rata riap tahunan sama dengan riap tahun berjalan, (2) menganalisis perubahan daur optimal tegakan hutan apabila aspek ekonomi

menjadi pertimbangan, dan (3) menganalisis daur optimal hutan apabila manfaat ekonomi dari hasil hutan non kayu (jasa lingkungan karbon) juga ikut dalam perhitungan.

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

1. Daur ekologis (*prinsip kulminasi*)

Daur ekologis atau sering pula disebut sebagai daur biologis merupakan waktu yang diperlukan oleh tegakan hutan untuk mencapai volume kayu maksimum. Penentuan daur ini biasanya dilakukan dengan menentukan waktu T di mana riap rata-rata tahunan (*Mean Annual Increment/MAI*) sama dengan riap rata-rata tahun berjalan (*Current Annual Increment/CAI*). Secara matematis, kondisi ini dapat dijelaskan dengan persamaan (1):

$$\text{Max } T \quad S(T)/T, S'(T) = \frac{S(T)}{T} \quad (1)$$

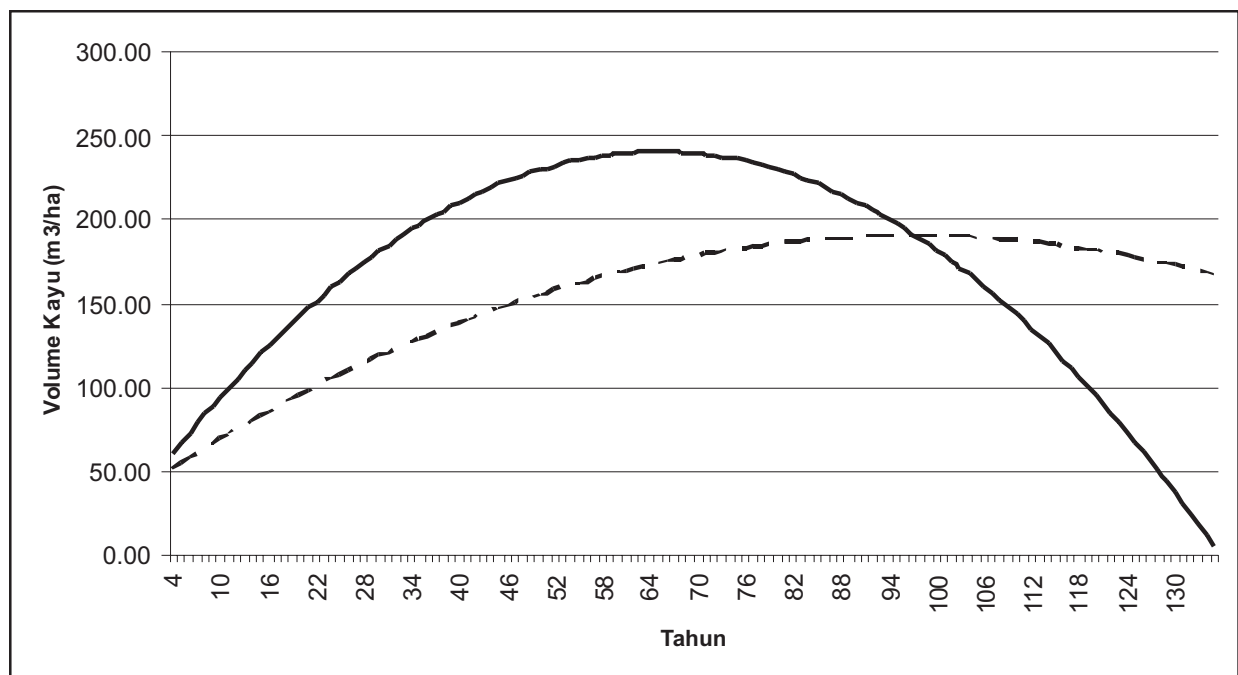
Untuk memberikan gambaran secara ilustratif dan membandingkannya dengan perhitungan daur yang lain, kedua sisi persamaan (1) dibagi dengan

total volume S/T sehingga diperoleh persamaan (2):

$$\frac{S'(T)}{S(T)} = \frac{1}{T} \quad (2)$$

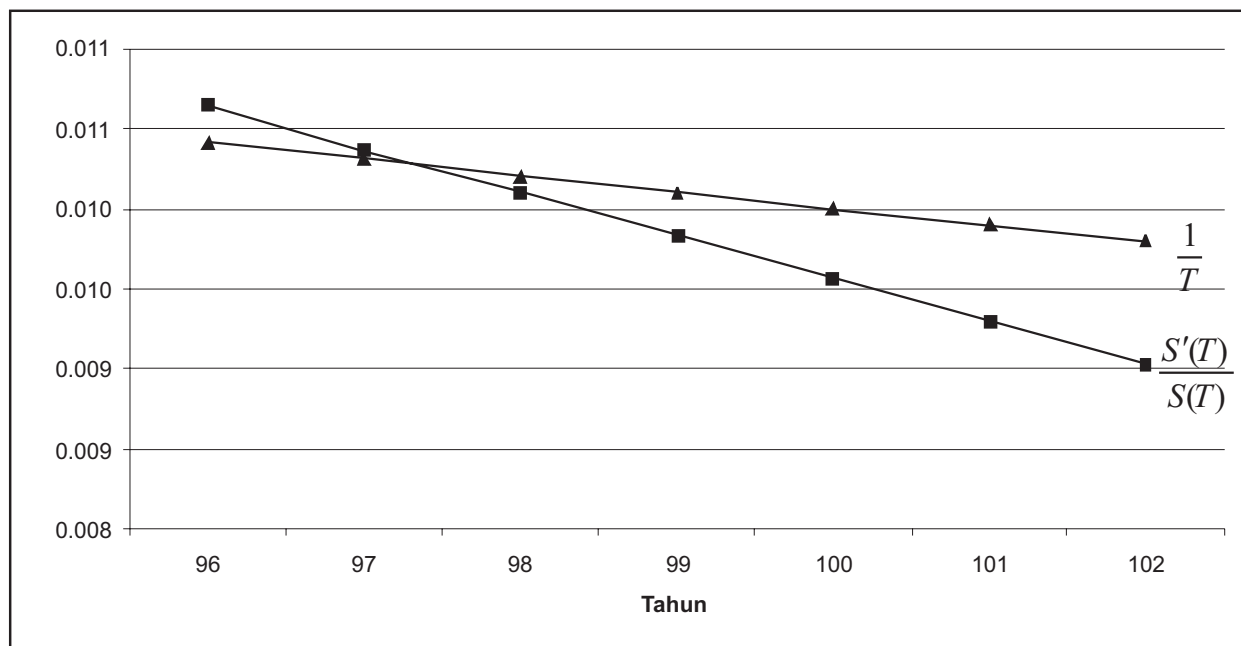
Sisi kiri dari persamaan (2) seringkali disebut dengan PAI (*Periodic Annual Increment*). Daur ekologis optimal T_y merupakan waktu dimana perubahan stok hutan (volume kayu berdiri) $S'(T)$ pada waktu T setara dengan rata-rata volume yang dapat ditebang. Daur optimal ini banyak digunakan oleh ahli kehutanan karena secara biologis, pohon seperti makhluk hidup lainnya, akan mencapai titik maksimal dalam pertumbuhannya dan akan mati.

Sebagai ilustrasi, data dari Perman *et.al.* (2003) tentang pertumbuhan tegakan *Douglas firs* di Amerika Serikat akan digunakan. Data pertumbuhan *Douglas firs* cukup relevan apabila digunakan sebagai ilustrasi mengingat tegakan *Douglas firs* memiliki sistem silvikultur yang sama dengan hutan rakyat yaitu tebang habis permudaan buatan dan biasanya ditanam secara monokultur. Model pertumbuhan *Douglas firs* yang digunakan merupakan fungsi hubungan antara volume kayu per ha dan waktu (tahun), yaitu:



Gambar 1 (*Figure 1*). Daur optimal ekologis *Douglas firs* berdasarkan MAI dan CAI (*Optimal ecological rotation of Douglas firs stand based on MAI and CAI*)

Sumber (*Source*): diolah dari Perman *et al.* (*utilized from perman et al.*)



Gambar 2 (Figure 2). Daur optimal ekologis *Douglas fir* dalam rejim optimasi produksi kayu (*Optimal ecological rotation of Douglas fir stand in wood production optimization regime*)
 Sumber (Source): diolah dari Perman *et al.*

2. Daur ekonomis (Daur Faustmann)

Dalam menentukan daur optimal secara ekonomi, pendekatan yang diambil adalah pendekatan NPV (*Net Present Value*) dari suatu tegakan hutan dalam rantai rotasi tak terhingga, yang menunjukkan bahwa hutan tidak akan dirubah menjadi penggunaan lahan lain. Untuk memaksimalkan NPV, dapat digunakan formula Faustmann, dimana p merepresentasikan harga *net* dari kayu dalam tegakan hutan (setelah dikurangi biaya pemanenan c), C biaya penanaman, dan i sebagai suku bunga riil (Persamaan 3):

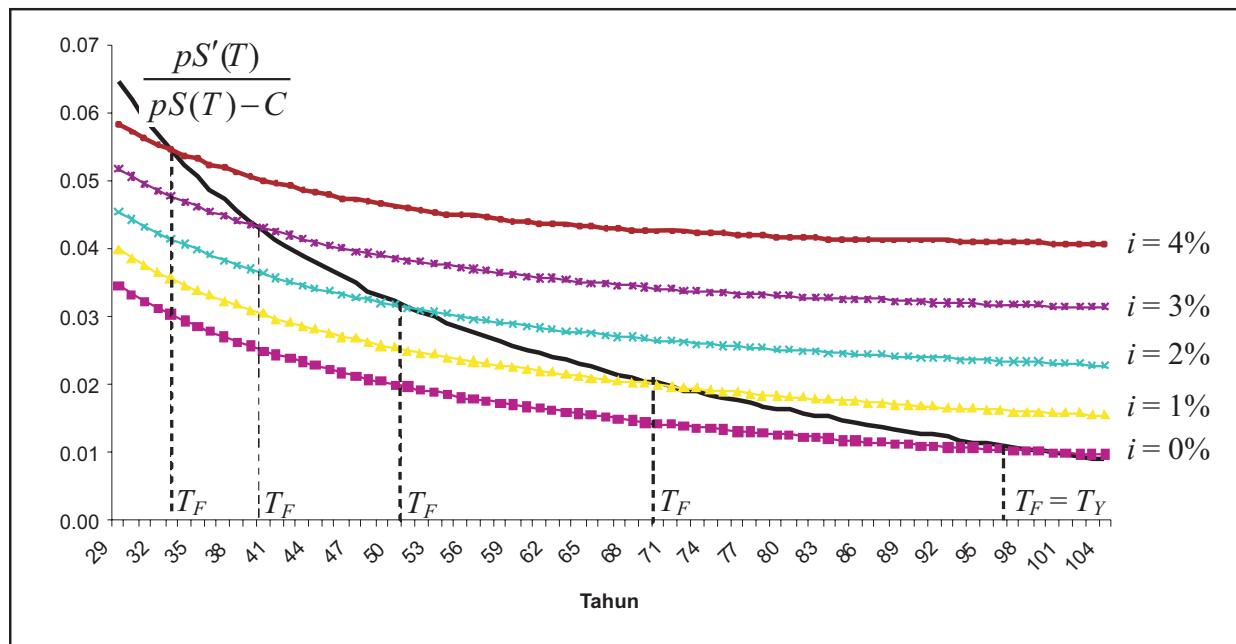
$$NPV = \lambda(T) = \frac{(pS(T) - C)e^{-iT} - C}{1 - e^{-iT}} \quad (3)$$

$$\begin{aligned} \text{Max}_T \quad & \lambda(T), \lambda'(T) = 0 \\ & pS'(T) = i(pS(T) - \lambda) \end{aligned} \quad (4)$$

Persamaan (4) merupakan kondisi untuk rotasi optimal Faustmann, dimana keuntungan marjinal dari menunda penebangan (sisi kiri persamaan) setara dengan biaya kesempatan yang disebabkan oleh penundaan ini (sisi kanan persamaan). Terminologi $pS(T) + \lambda^*$ menunjukkan jumlah nilai dari lahan λ^* dan stok kayu $pS(T)$ pada waktu pemanenan. Apabila kita ganti λ^* dengan terminologi dari sisi kanan persamaan (3) dan menata kembali persamaan (4) akan menghasilkan persamaan (5) untuk memberikan ilustrasi secara grafis.

$$\frac{pS'(T)}{pS(T) - C} = \frac{i}{1 - e^{-iT}} \quad (5)$$

Jika dibandingkan dengan daur ekologis, daur optimal Faustmann tradisional (persamaan 5) akan lebih pendek, karena tiap kejadian daur akan didiskon dan diuangkan. Pendekatan Faustmann ini hanya mempertimbangkan produksi kayu saja. Data dari Perman *et al.* digunakan sebagai ilustrasi, yaitu harga kayu P adalah 10 US \$/m³, biaya tebangan c sebesar 2 US \$/m³, dan biaya penanaman C sebesar 5.000 US \$/m³. Hasil dari perhitungan persamaan (5) pada beberapa tingkat suku bunga riil disajikan dalam Gambar 4.



Gambar 4 (Figure 4). Daur optimal finansial pada beberapa suku bunga riil (*Financially optimal timber harvesting rotation in different interest rates*)
 Sumber (Source): diolah dari Perman *et al.*

Dari Gambar 4 terlihat bahwa semakin tinggi tingkat suku bunganya akan menghasilkan daur ekonomis optimal yang semakin pendek. Pada tingkat suku bunga 0%, daur ekonomis optimal sama dengan daur biologisnya, yaitu 97 tahun. Dengan naiknya tingkat suku bunga menjadi 1%, daur ekonomis optimal menjadi 71 tahun. Begitu pula seterusnya, pada tingkat suku bunga 2%, 3%, dan 4%, daur ekonomis optimal berturut turut adalah 51, 40, dan 33 tahun.

Amacher *et al.* menyebutkan bahwa dalam penentuan daur optimal hutan tanaman dengan formula Faustmann, beberapa asumsi dasar yang harus dipenuhi antara lain: 1) harga tegakan hutan adalah konstan dan biaya-biaya permudaan konstan dan diketahui, (2) tingkat suku bunga konstan dan diketahui, (3) fungsi pertumbuhan tegakan diketahui, (4) pasar dari lahan hutan adalah sempurna, dan (5) pasar modal finansial sempurna.

3. Daur optimal hutan dengan produksi kayu dan jasa lingkungan karbon (Daur Hartman)

Untuk menentukan daur optimal hutan dengan tujuan maximasi produksi kayu dan jasa lingkungan serapan karbon, diperlukan asumsi bahwa hutan akan memberikan manfaat tidak hanya kayu, namun

juga jasa lingkungan seperti keanekaragaman hayati, perlindungan tata air, dan serapan karbon. Jasa lingkungan serapan karbon berkorelasi positif dengan pertumbuhan kayu, sehingga semakin tinggi volume tegakannya, semakin tinggi pula karbon yang diserapnya.

Untuk memaksimalkan NPV dari produksi kayu dan jasa lingkungan karbon, diasumsikan bahwa hutan akan tetap menjadi hutan dan tidak berubah menjadi penggunaan lahan lainnya (*infinite planning horizon*). Model yang digunakan untuk maksimasi hasil produksi bersama kayu dan karbon ini dikenal dengan model Hartman.

Persamaan (6) menunjukkan kombinasi NPV ρ dari produksi bersama kayu λ dan serapan karbon ψ , dimana arus kas yang dihasilkan dari jasa lingkungan karbon dinotasikan sebagai γ :

$$NPV = \rho(t) + \lambda(T) + \psi(T) \frac{pS(T) - C + \int_0^T \gamma(t) e^{-it} dt}{1 - e^{-iT}} \quad (6)$$

$$\text{Max}_T \rho(T), \rho'(T) = 0$$

$$pS'(T) + \gamma(T) - i(pS(T) - \rho) = 0 \quad (7)$$

Kondisi yang diperlukan untuk mendapatkan rotasi yang optimal diperoleh dari persamaan (7). Seperti halnya persamaan (4), biaya kesempatan untuk menunda penebangan setara dengan keuntungan dari penundaan ini, namun sekarang ada tambahan pendapatan dari penambatan karbon. Apabila persamaan (6) kita masukkan sebagai p^* dalam persamaan (7) akan dihasilkan:

$$\frac{pS'(T)}{pS(T)-C} = i + \frac{1}{1-e^{-iT}} \int_0^T \frac{\gamma(t)e^{-it}}{pS(T)-C} dt - \frac{\gamma(T)}{pS(T)-C} \quad (8)$$

Sisi kanan persamaan (8) berbeda dengan persamaan (5) dengan memasukkan pendapatan yang diperoleh dari jasa lingkungan karbon. Karena pohon hanya dapat memberikan jasa lingkungan menyerap CO_2 di udara apabila pohon tersebut hidup yaitu melalui proses fotosintesisnya, maka pendapatan dari jasa lingkungan karbon ini akan memberikan insentif bagi pengelola hutan untuk menunda tebangan. Sehingga, rotasi tebang menjadi lebih panjang, seperti ditunjukkan oleh persamaan (8).

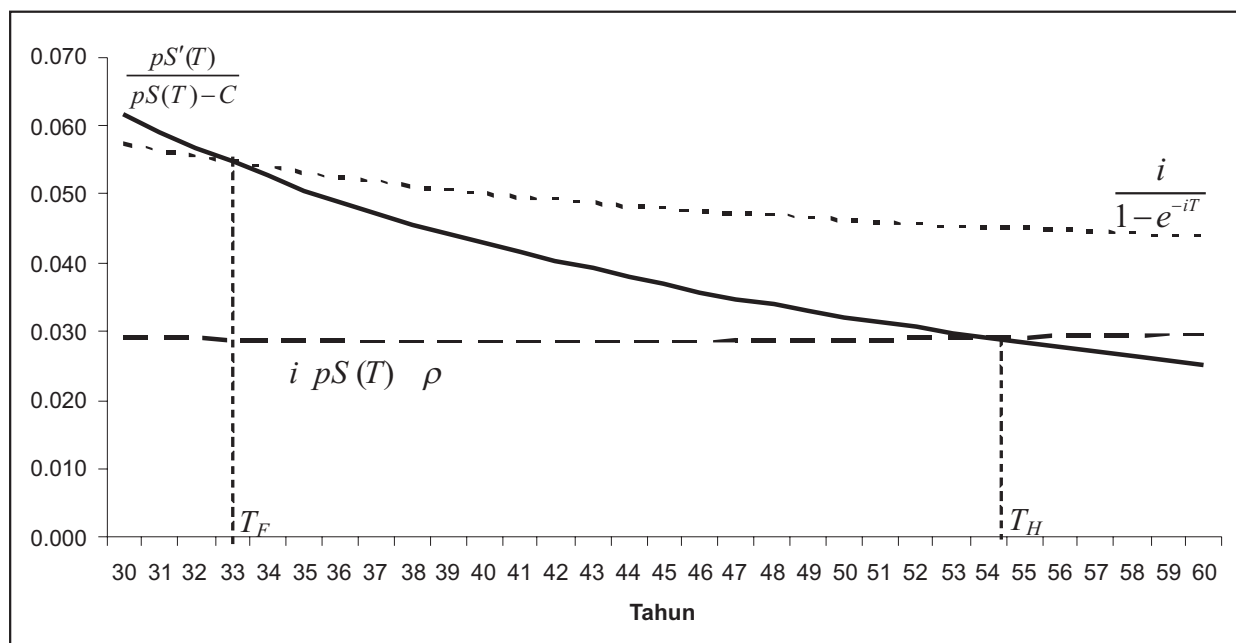
Untuk menghitung serapan karbon tegakan *Douglas firs* digunakan nilai *default* dari IPCC guideline. Total biomassa di atas permukaan tanah (*Total Above Ground Biomass/TAGB*) dihitung dengan mengalikan nilai BCEF (*Biomass Conversion and Expansion Factor*) dengan volume kayu tegakan berdiri $S(T)$:

$$TAGB = BCEF * S(T) \quad (9)$$

Nilai BCEF untuk *Douglas firs* bergantung pada perubahan volume kayu berdirinya $S(T)$, yaitu: 1.8, 1, 0.75, dan 0.7 berturut turut untuk $S(T)$ 1-20; 21-40; 41-100; dan $> 100 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$. Total karbon terserap dihitung dengan mengalikan total biomassa di atas tanah $TAGB$ dengan fraksi karbon f (0.4) dan bilangan unsur karbon dalam CO_2 yaitu 44/12:

$$TC = TAGB \cdot 0.4 \cdot \frac{44}{12} \quad (10)$$

Asumsi harga karbon dalam ilustrasi ini (Gambar 5) adalah 5 US \$ $\text{Mg}^{-1} \text{CO}_2 \text{ eq}$ dengan tingkat suku bunga riil 4%.

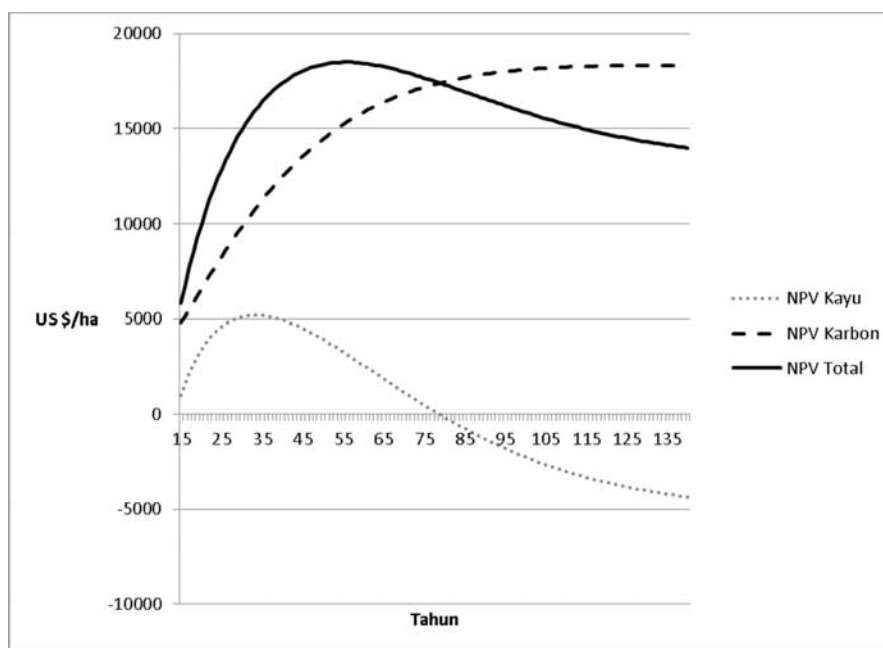


Gambar 5 (Figure 5). Daur optimal produksi bersama antara kayu dan karbon (*Optimal joint production of wood and carbon sequestration*)

Sumber (Source): diolah dari Perman *et al.*

Dari Gambar 5 terlihat bahwa dengan memasukkan jasa lingkungan karbon dalam perhitungan optimasi produksi bersama kayu dan karbon akan menyebabkan daur optimal T_H yang lebih lama (54 tahun) dibandingkan dengan daur optimal finansial T_F (33 tahun). Hal ini menunjukkan bahwa untuk memaksimalkan keuntungan, pengelola hutan *Douglas firs* akan menunda penebangan kayunya hingga 54 tahun dengan asumsi harga karbon dan suku bunga yang tetap pada masa kontrak.

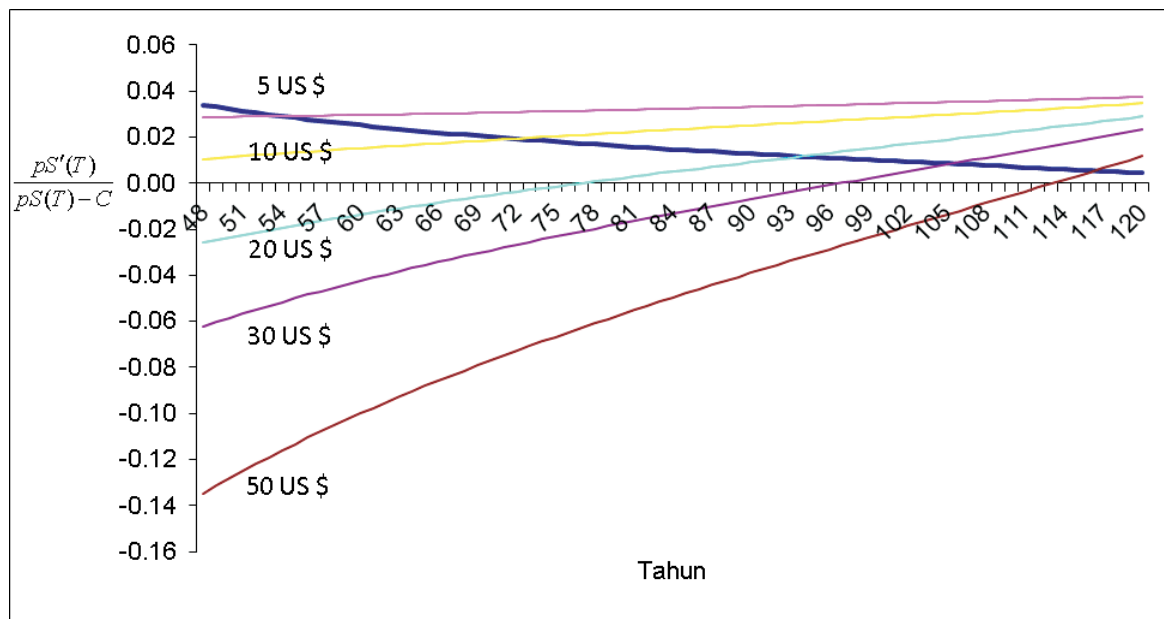
Nilai maksimum NPV apabila hanya memperhitungkan jasa lingkungan karbon NPV^C diperoleh pada tahun ke 135 (Gambar 6). Kondisi ini diperoleh pada saat $S(T) > 0$, atau tegakan hutan masih tumbuh positif (menambah biomassa). Ketika melewati umur ini, tegakan hutan akan mengalami pertumbuhan negatif, karena secara alamiah pohon-pohon akan tua dan mati.



Gambar 6 (Figure 6). NPV kayu, jasa lingkungan karbon dan gabungan kayu dan jasa lingkungan karbon (*NPV of timber, carbon service, and joint of timber and carbon service*)
 Sumber (Source): diolah dari Perman *et al.* (2003)

Mengingat harga karbon dunia yang fluktuatif, maka analisis sensitivitas dilakukan untuk mengetahui pengaruh harga karbon terhadap daur optimal Hartman (Gambar 7). Beberapa harga karbon diset dalam analisis sensitivitas ini yaitu: 5, 10, 20, 30, dan 50 \$ $Mg^{-1} CO_2$ eq. Pada Gambar 7

terlihat bahwa daur optimal T_H pada tingkat harga 5, 10, 20, 30, dan 50 \$ $Mg^{-1} CO_2$ eq berturut-turut adalah 54, 72, 94, 105 dan 117 tahun. Pada harga karbon 20, daur optimal T_H hampir sama dengan daur optimal T_Y (97 tahun).



Gambar 7 (Figure 7). Daur optimal produksi bersama kayu dan karbon pada beberapa tingkat harga karbon (*Optimal joint production of wood and carbon sequestration in different carbon prices*)

Sumber (Source): diolah dari Perman *et al.* (2003)

Gambar 7 menunjukkan bahwa semakin tinggi harga karbon, semakin panjang pula daur optimalnya, karena keputusan untuk menunda penebangan (semakin banyak karbon tersimpan) lebih menguntungkan dibandingkan dengan segera menebang pada tingkat harga karbon yang lebih tinggi.

IV. KESIMPULAN DAN SARAN

Kesimpulan

Dari hasil dan pembahasan, dapat ditarik beberapa kesimpulan:

1. Daur ekonomis memberikan waktu yang lebih pendek dengan keuntungan yang paling tinggi untuk melakukan tebangan jika hanya mempertimbangkan kayu sebagai keuntungan dari suatu tegakan hutan.
2. Memasukkan keuntungan dari jasa lingkungan serapan karbon dalam perhitungan daur optimal ekonomis akan memberikan waktu yang lebih panjang dibandingkan hanya mempertimbangkan keuntungan dari kayu.
3. Apabila hanya memperhatikan jasa lingkungan serapan karbon sebagai keuntungan yang diperoleh dari suatu tegakan hutan, daur

optimal yang diperoleh adalah ketika pohon/hutan masih tumbuh positif. Ketika pohon/tegakan hutan mengalami pertumbuhan negatif (telah tua), maka hutan akan tidak lagi menyerap karbon, tetapi justru akan mengemisinya karena terjadinya proses pembusukan.

4. Pada tingkat suku bunga yang lebih tinggi, daur optimal Faustmann menjadi lebih pendek.
5. Pada tingkat harga karbon yang lebih tinggi, daur optimal Hartman akan menjadi lebih panjang.

Saran

Pemanfaatan hutan sebagai penghasil jasa lingkungan penyerap karbon dioksida telah banyak dilakukan oleh banyak pihak di banyak negara melalui proyek pembangunan hutan baru (afforestasi) dan penghutanan kembali kawasan hutan (reforestasi) baik pada pasar wajib (di bawah protokol Kyoto) maupun pasar sukarela. Namun demikian, kejelasan informasi akan mekanisme pasar karbon belum banyak diketahui oleh masyarakat, khususnya petani hutan rakyat. Pemberian informasi yang tepat akan memberikan pertimbangan yang tepat pula dalam pengambilan keputusan pengelolaan hutan tanaman, khususnya

pertimbangan ekonomi. Oleh karenanya, sosialisasi dan asistensi dari pemerintah sangat diperlukan dalam mewujudkan produksi bersama kayu dan jasa lingkungan karbon di hutan rakyat. Selain itu, informasi tentang cara perhitungan karbon dalam biomassa, MRV (monitoring, pelaporan, dan verifikasi), dan biaya-biaya yang mungkin timbul perlu juga disosialisasikan kepada pengelola hutan rakyat agar keputusan yang diambil menjadi tepat.

DAFTAR PUSTAKA

- Amacher, G.S., Ollikainen, M., Koskela, E. 2009. Economics of forest resources. MIT Press, Cambridge, Mass.
- Asante, P., Armstrong, G.W., Adamowicz, W.L. 2011. Carbon sequestration and the optimal forest harvest decision: A dynamic programming approach considering biomass and dead organic matter. *J Forest Econ* 17, 3-17.
- Galinato, G.I., Uchida, S. 2010. The Effect of temporary certified emission reductions on forest rotations and carbon supply. *Canadian Journal of Agricultural Economics*.
- Ginoga, K.L., Wulan, Y., Djaenudin, D. 2005. Karbon dan peranannya dalam kelayakan usaha hutan tanaman jati (*Tectona Grandis*) di KPH Saradan, Jawa Timur. *Jurnal Penelitian Sosial dan Ekonomi* 2, 183-202.
- Gutrich, J., Howarth, R.B. 2007. Carbon sequestration and the optimal management of new hampshire timber stands. *Ecol Econ* 62, 441-450.
- IPCC. 2006. IPCC Guideline 2006 Guidelines for national green house gas inventories. In. IPCC.
- Kooten, G.V., Binkley, C., Delcourt, G. 1995. Effect of carbon taxes and subsidies on optimal forest rotation age and supply of carbon services. *American Journal of Agricultural Economics* 77, 365-374.
- Kothke, M., Dieter, M. 2010. Effects of carbon sequestration rewards on forest management-An empirical application of adjusted Faustmann Formulae. *Forest Policy Econ* 12, 589-597.
- Olschewski, R., Benitez, P.C. 2010. Optimizing joint production of timber and carbon sequestration of afforestation projects. *J. Forest Econ* 16, 1-10.
- P3HT. 2006. Review hasil penelitian hutan rakyat. Pusat Penelitian dan Pengembangan Hutan Tanaman (P3HT) Badan Litbang Kehutanan, Bogor.
- Perman, R., Ma, Y., McGilvray, J., Common, M. 2003. Natural resource and environmental economics. Third Edition. Pearson Education Limited, England.
- Rahmat, M. 2010. Evaluasi manfaat dan biaya pengurangan emisi serta penyerapan karbon dioksida pada lahan gambut di HTI PT SBA WI. *Jurnal Bumi Lestari* 10, 275 - 284.
- Subarudi, Djaenudin, D., Erwidodo, Cacho, O. 2005. Growth and carbon sequestration potential of plantation forestry in Indonesia: I. *Paraserianthes falcataria* and *Acacia mangium*. In, Working Paper CC08, ACIAR project ASEM 1999/093.
- Tassone, V.C., Wesseler, J., Nesci, F.S. 2004. Diverging incentives for afforestation from carbon sequestration: an economic analysis of the EU afforestation program in the south of Italy. *Forest policy and economics* 6, 567-578.
- van Kooten, G.C., Binkley, C.S., Delcourt, G. 1995. Effect of carbon taxes and subsidies on optimal forest rotation age and supply of carbon services. *American Journal of Agricultural Economics* 77, 365-374.

Lampiran 1 (*Appendix 1*). Beberapa penelitian yang menggunakan daur Hartman dalam penentuan daur optimal produksi bersama kayu dan jasa lingkungan karbon hutan tanaman (*Studies that use Hartman method in determining optimal cutting cycle on joint production of timber and carbon service in plantation forests*)

Penulis	Jenis tanaman/hutan	Lokasi	Hasil	Jenis carbon credit
Van Kooten <i>et al.</i> (1995)	Boreal forest	Alberta bagian utara dan pantai British Columbia, Kanada	Memasukkan tambahan pendapatan dari jasa lingkungan karbon dalam perhitungan total NPV akan memberikan rotasi tebangan yang lebih panjang dibandingkan hanya mempertimbangkan kayu. Pada kondisi tertentu, tidak menebang hutan sama sekali merupakan kondisi yang secara sosial optimal	Tidak ada keterangan tentang jenis karbon kredit (pada tahun 1995 belum ada pasar karbon wajib seperti untuk sector kehutanan seperti CDM)
Tassone <i>et al.</i> (2004)	Silver fir, Walnut, Beech	Italia	Rotasi tebangan pada produksi bersama kayu dan jasa karbon lebih panjang pada harga karbon mulai 10€/ton CO ₂ , yaitu dari 33 tahun menjadi 41 tahun.	tCER CDM (karbon kredit sementara/kurun waktu tertentu pada mekanisme pembangunan bersih)
Gutrich dan Howarth (2007)	Pinus putih, merah dan jack; Spruce-fir, Oak dan pinus; Oak dan hickory; Maple-beech-birch	New Hampshire, Amerika Serikat	Tambahan pendapatan dari jasa lingkungan karbon pada perhitungan NPV telah membuat rotasi tebangan menjadi lebih panjang pada semua jenis hutan dalam penelitian ini.	Tidak ada keterangan
Galinato dan Uchida (2010)	Mahoni Filipina dan Tanzanian neem	Filipina dan Tanzania	Pada jenis cepat tumbuh, dengan rotasi tebangan relatif pendek, tambahan keuntungan yang diperoleh dari jasa lingkungan karbon tidak elastis. Sementara itu, pada jenis yang relatif lambat tumbuh, tambahan pendapatan dari jasa lingkungan karbon cukup elastis, sehingga rotasi tebangnya terpengaruh oleh harga karbon.	tCER CDM
Olschewski dan Benitez (2010)	Cordia alliodora	Ekuador	Rotasi tebangan akan menjadi lebih panjang pada tingkat harga karbon yang berbeda	tCER dan ICER CDM

Lampiran 1 (*Appendix 1*). Lanjutan (*Continued*)

Penulis	Jenis tanaman/hutan	Lokasi	Hasil	Jenis carbon credit
Kothke dan Dieter (2010)	Spruce	Jerman	Tergantung pada tingkat harga karbon, rotasi optimal akan selalu lebih panjang apabila mempertimbangkan jasa lingkungan karbon dalam perhitungan NPV	Karbon kredit skala nasional
Asante <i>et al.</i> (2011)	Hutan boreal bagian barat Kanada	Kanada	Dengan adanya tambahan pendapatan dari jasa lingkungan karbon yang berasal dari karbon tersimpan dalam biomassa pohon hidup, rotasi tebang optimal menjadi lebih panjang. Namun, apabila mempertimbangkan pula karbon yang tersimpan dalam nekromas, jumlah karbon kredit menjadi berkurang, sehingga rotasi tebang menjadi tidak sepanjang apabila tidak mempertimbangkan nekromas	Tidak ada keterangan